

学校编码: 10384

分类号密级

学号: 23120131153096

UDC

廈門大學

硕士学位论文

基于指纹织构图案化的胆甾相液晶光栅  
研究

Research on Patterning Fingerprint Texture for Cholesteric  
Liquid Crystal Gratings

罗斌

指导教师姓名: 陈鹭剑副教授

专业名称: 光 学 工 程

论文提交日期: 2016 年月

论文答辩时间: 2016 年月

学位授予日期: 2016 年月

答辩委员会主席:

评阅人:

2016 年 5 月

# 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年月日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（）1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（）2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年月日

厦门大学博硕士论文摘要库

## 摘要

胆甾相液晶指纹织构光栅是基于胆甾相液晶在平面内的周期性排列的相位光栅，由于其在光束调制器件上的应用前景，近几年成为了面向非显示应用的液晶研究领域中的热点之一。聚合物稳定的胆甾相液晶指纹织构光栅实现了零电场下稳定的液晶光栅阵列，发挥了聚合物高分子材料和液晶相结合的优势，可以克服胆甾相液晶指纹织构光栅实用性低的缺点；在此基础上，实现胆甾相液晶指纹织构光栅的聚合稳定图案化的多样性和微型化，将会拓展胆甾相液晶指纹织构光栅在光束调制器、光通讯、显示等领域的应用。基于光控取向的胆甾相液晶指纹织构光栅图案化，将充分发挥光取向技术的优势，实现灵活操控的胆甾相液晶指纹织构光栅的图案化，进一步为先进光学元件的设计开辟一条新的途径。

本文从胆甾相液晶指纹织构光栅的聚合稳定图案化的应用研究和基于光控取向的胆甾相液晶指纹织构光栅的图案化研究两个主要方面进行了阐述：

其一，提出了一种灵活的技术实现胆甾相液晶指纹织构光栅的聚合稳定图案化。即是利用序列性的光诱导活性液晶单体聚合的原理完成不同类型的同时内嵌 DM 和 GM 指纹织构胆甾相液晶的聚合稳定。这里，条纹式图案化和棋盘式图案化分别被三种不同的曝光序列方法所实现，并使用偏光显微镜（POM）和扫描电子显微镜（SEM）对其形态图进行了研究。通过改变所施加的电压的大小和入射光的偏振方向来实现该胆甾相液晶指纹织构光栅聚合稳定条纹式图案化的样品在正交方向上对非零级衍射光的调制。因此，实现了在二维空间上对光束的调控能力。

其二，系统研究了基于光取向技术的胆甾相液晶指纹织构光栅图案化的合适的实验参数：掺杂 POSS 与甲基红 MR 的质量分数，光照时间， $d/p$  值等。确定了 POSS 的掺杂比例为 0.2wt%，MR 的比例为 2wt%，选择  $d/p$  约为 1 的胆甾相液晶样品作为理想的基于光取向的胆甾相液晶图案化样品。在确定了合适的参数之后，选择 ITO/PI 基质的液晶盒子，实现了在同一个胆甾相液晶样品中可相继出现混合取向与光取向的胆甾相液晶指纹织构光栅的简单图案化。

**关键词：**胆甾相液晶光栅；指纹织构；聚合物稳定；光取向；图案化

## ABSTRACT

Due to the prospective application on beam-steering devices, cholesteric liquid crystal (CLC) fingerprints grating, a periodic phase grating that is based on the CLC, which has been considered to be a research hotspot towards non-displayed liquid crystals applications in recent years. Polymer-stabilized cholesteric liquid crystal (PSCLC) fingerprints gratings achieve a stabilized array of liquid crystal gratings without the voltage, integrate successfully the polymer materials into liquid crystals and overcome the defects of CLC gratings on impracticability. On this basis, making a various and miniaturized polymer-stabilized patterning of CLC fingerprints gratings will expand the applications of CLC gratings on beam steering modulators, optical communications, liquid crystal displays (LCD) and so on. Moreover, patterning of CLC fingerprints gratings based on photo-alignment can harness the advantage of photo-alignment technique, and pioneer flexible and easily-fabricated CLC fingerprints gratings patterning, which further opens a new path towards the optical elements with advanced-design.

This dissertation mainly introduces the research on both polymer-stabilized patterning of CLC fingerprints gratings and patterning of CLC fingerprints gratings based on photo-alignment, two aspects included:

First, we demonstrated a flexible method to stabilize different types of interlaced DM/GM fingerprint textures in the same cell by means of sequential photopolymerization of CLCs doped with reactive mesogenic monomer. Intriguing stripe-patterned and checker-patterned in-plane helical superstructures are prepared via three different exposure sequences and the morphologies were investigated under POM and SEM. Furthermore, polarization-dependent diffraction measurements are coincident with observed PSCLC structures and we also reveal the mechanism for redistribution of nonzero diffraction intensity in orthogonal directions by changing the polarization state of incident laser beam and applying external electric field. In the present scenario of the exploration of in-plane helical CLC superstructures, we

believe that much more photonic potentials can be anticipated on account of further developments of cost-efficient and complex diffraction elements and devices based on CLC fingerprint textures.

Second, we systematically study the parameters of polymer-stabilized patterning of CLC fingerprints gratings, including the concentrations of POSS and MR, the exposure time and the d/p value. Certainly, It is more reasonable to employ the CLC sample with a POSS concentration of 0.2wt%, a MR value of 2wt% and a d/p ratio of nearly 1, as the ideal choice for CLC fingerprints grating patterning enabled by photo-alignment. Subsequently, a relative simple patterning is implemented on the ITO and PI substrates cell induced by photo-alignment. Therefore, the CLC fingerprints gratings based on both hybrid-alignment (HAN) and photo-alignment can continuously appear in the same CLC sample.

**Key Words:** CLCgrating;fingerprint texture; Polymer stabilization; Photo-alignment; patterning

## 目录

摘要 .....	I
ABSTRACT .....	II
Contents .....	VI
<b>第一章 绪论 .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 液晶的基本知识 .....</b>	<b>1</b>
1.1.1 液晶的分类.....	1
1.1.2 液晶的性质.....	3
1.1.3 胆甾相液晶.....	4
<b>1.2 胆甾相液晶指纹织构光栅 .....</b>	<b>5</b>
1.2.1 胆甾相液晶指纹织构光栅的形成原理.....	5
1.2.2 胆甾相液晶指纹织构光栅的研究进展.....	7
1.2.3 光控胆甾相液晶指纹织构光栅的研究进展.....	9
1.2.4 液晶的光取向技术.....	10
<b>1.3 胆甾相液晶指纹织构光栅的图案化研究意义 .....</b>	<b>13</b>
<b>1.4 本文的研究内容 .....</b>	<b>14</b>
<b>第二章胆甾相液晶指纹织构光栅的聚合稳定图案化应用研究 .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 引言 .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 样品制备与测试 .....</b>	<b>16</b>
2.2.1 材料介绍.....	16
2.2.2 样品制备.....	17
2.2.3 样品测试.....	18
<b>2.3 胆甾相液晶指纹织构光栅的聚合稳定图案化 .....</b>	<b>19</b>
2.3.1 胆甾相液晶指纹织构光栅的电压调制特性.....	19
2.3.2 胆甾相液晶指纹织构光栅的聚合稳定图案化研究.....	21
2.3.3 聚合稳定胆甾相液晶指纹织构光栅的光学衍射特性.....	25
<b>2.4 本章小结 .....</b>	<b>29</b>
<b>第三章基于光控取向的胆甾相液晶指纹织构光栅的图案化研究 .....</b>	<b>31</b>



3.1 引言 .....	31
3.2 实验材料与样品制备 .....	31
3.2.1 材料介绍 .....	31
3.2.2 样品制备过程 .....	33
3.3 实验参数分析与讨论 .....	36
3.3.1 POSS 掺杂比例 .....	36
3.3.2 甲基红掺杂比例 .....	37
3.3.3 光照时间 .....	38
3.3.4 d/p 比值 .....	40
3.4 基于光控取向的胆甾相液晶指纹结构光栅的图案化 .....	43
3.5 本章小结 .....	45
第四章总结与展望 .....	46
4.1 研究总结 .....	46
4.2 研究展望 .....	47
参考文献 .....	48
硕士期间科研成果 .....	56
致谢语 .....	57

## Contents

<b>Chapter 1 Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Knowledge of liquid crystals.....</b>	<b>1</b>
1.1.1 Categories of liquid crystals.....	1
1.1.2 Characteristics of liquid crystals.....	3
1.1.3 Cholesteric liquid crystals.....	4
<b>1.2 Cholesteric liquid crystal fingerprints gratings .....</b>	<b>5</b>
1.2.1 Principle of CLC fingerprints gratings .....	5
1.2.2 Progress of CLC fingerprints gratings .....	7
1.2.3 The research progress of CLC fingerprints gratings based on photo-control technique .....	9
1.2.4 Photo-alignment technique of liquid crystal.....	10
<b>1.3 Research significance of patterning of CLC fingerprints gratings .....</b>	<b>13</b>
<b>1.4 Contents of this article.....</b>	<b>14</b>
<b>Chapter 2 Research &amp; Application on Polymer-stabilized Patterning of CLC Fingerprints Gratings.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Introduction.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 Samples preparation and testing .....</b>	<b>16</b>
2.2.1 Materials .....	16
2.2.2 Preparation of samples.....	17
2.2.3 Measurement of samples.....	18
<b>2.3 Polymer-stabilized patterning of CLC fingerprints gratings .....</b>	<b>19</b>
2.3.1 Voltage-modulation properties of CLC fingerprints gratings .....	19
2.3.2 Research on polymer-stabilized patterning of CLC fingerprints gratings ..	21
2.3.3 Optical diffraction properties of polymer-stabilized CLC fingerprints gratings.....	25
<b>2.4 Summary.....</b>	<b>30</b>
<b>Chapter 3 Research on Polymer-stabilized Patterning of</b>	

<b>CLCFingerprints Gratings Based on Photo-alignment .....</b>	<b>31</b>
<b>3.1 Introduction.....</b>	<b>31</b>
<b>3.2 Materials and samples preparation.....</b>	<b>31</b>
3.2.1 Materials .....	31
3.2.2 Samples preparation.....	33
<b>3.3 Analyses and discussion of experimental parameters .....</b>	<b>36</b>
3.3.1 POSS-doped concentration .....	36
3.3.2 MR-doped concentration .....	37
3.3.3 The exposure time.....	38
3.3.4The d/p value.....	40
<b>3.4 Polymer-stabilized patterning of CLC fingerprints gratings based on photo-alignment .....</b>	<b>43</b>
<b>3.5 Summary.....</b>	<b>45</b>
<b>Chapter 4 Conclusion and Outlook.....</b>	<b>46</b>
4.1 Conclusion .....	46
4.2 Outlook.....	47
<b>References .....</b>	<b>48</b>
<b>Research achievements during masters.....</b>	<b>56</b>
<b>Acknowledgements .....</b>	<b>57</b>

厦门大学博硕士论文摘要库

## 第一章 绪论

### 1.1 液晶的基本知识

#### 1.1.1 液晶的分类

在自然界中，人们熟知的物质状态有三种：固态、液态、气态。除了上述三态之外，还有另外一些物质，在熔融状态或被溶剂溶解之后，不仅仅具有液体的流动特性，还兼有晶体各向异性的特性，所形成取向有序的流体是物质的一种均匀的相，即被称之为液晶。

根据形成液晶相的外部物理条件不同，液晶通常有溶致液晶和热致液晶之分。当液晶相的转变是基于温度的变化，这类液晶称为热致液晶。而当其液晶相的转变是由在溶剂中组成分子的浓度的变化引起的，这类液晶称为溶致液晶。根据组成分子或分子集团的结构的不同，热致液晶又可以分成长棒状分子液晶和盘形分子液晶。长棒状分子液晶是最普遍大量存在的液晶材料。它的组成分子的一个分子轴远长于其他两轴。根据分子排列结构的不同，它们主要可以分成 3 种类型：向列相、近晶相和胆甾相。

向列相液晶是最简单的液晶相。如图 1-1 (a) 所示，它的分子具有长程的取向有序性而没有任何长程位置有序性。也就是说，其分子倾向平行于某一从优方向排列，当然不是每个分子都严格地按照这个方向排列。分子的短程相互作用相对来说弱的，其排列、运动也比较自由，而分子的这种排列状态，使得其粘度小、流动性强。其中，如图 1-1 (b) 是向列相液晶在偏光显微镜下对应的织构图。

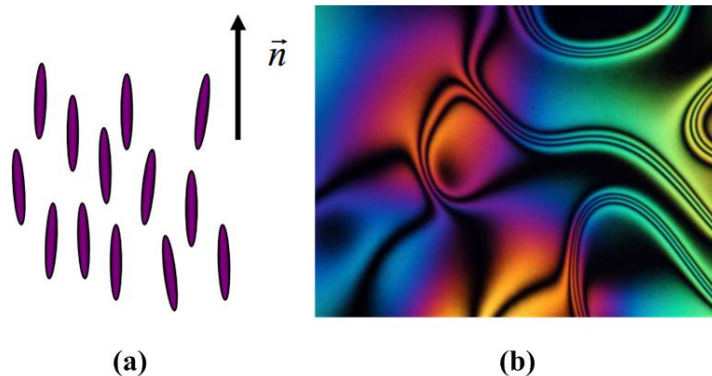


图 1-1. 向列相液晶<sup>[1]</sup>

近晶相液晶中分子的质量中心是排列成层状结构。如图 1-2 所示，在垂直于法线的方向，分子具有位置有序性，而在每一层中分子具有取向有序性，所以它比向列相更有序。对于液晶材料来说，近晶相往往出现在比向列相更低的温度区间。近晶相液晶中层间的吸引力比分子横向相互作用力要弱，所以层互相间可以相当容易地相对滑动。根据在每一层中分子的排列结构，存在多种不同类型的近晶相液晶。其中，如图 1-2 (b) 是近晶相液晶在偏光显微镜下的织构图。

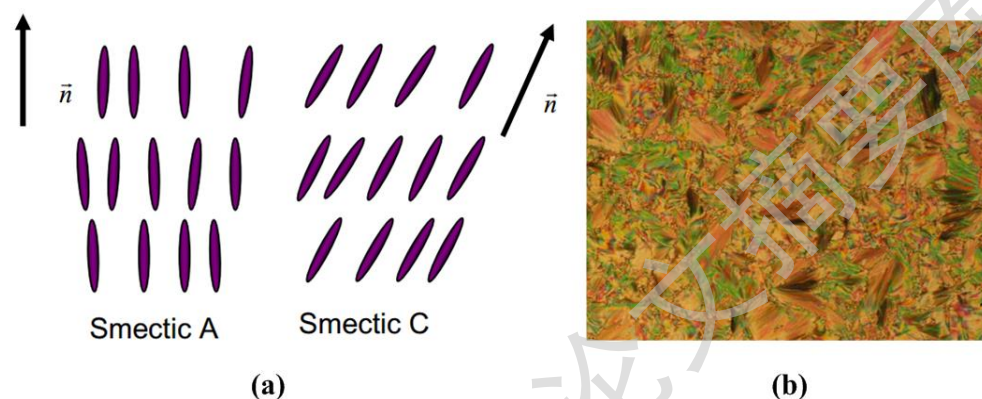


图 1-2. 近晶相液晶<sup>[1]</sup>

胆甾相液晶分子一般呈扁平形状，分子排列成层，每层内的分子之间互相平行，其长轴平行于各层层面。但方向不是一样的，而是相对来说有一个角度（约为  $15^\circ$ ），这样，各层分子的排列方向，从总体上看，扭转成一个螺旋线，并顺着各层的法线方向排列成螺旋结构。对于指向矢在空间旋转  $2\pi$  角度在螺旋轴上移动的距离叫做螺距  $P$ ，如图 1-3 所示。

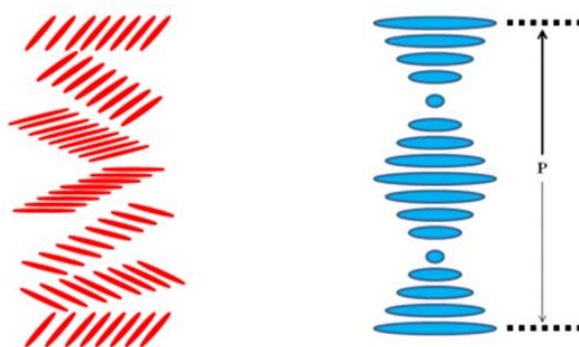


图 1-3. 胆甾相液晶的分子结构示意图<sup>[3]</sup>

### 1.1.2 液晶的性质

相变温度：相变温度是指化合物各种相态之间的转变温度。液晶的相变温度是指液晶存在的温度范围。从固态到液晶相态的转变温度称为熔点，从液晶相态转变为液态的温度称为清亮点，熔点和清亮点之间的温度范围即为液晶存在的温度范围。即某个温度范围内是一种液晶相，另一温度范围内分子重新排列，成为另一种液晶相。较高的温度能够有效地破坏材料内分子的有序程度，依据这个观点就能预计，如图 1-4 所示，随着温度的升高，应该先出现近晶相，再出现向列相，后呈现的是各向同性的相。即在较低的温度下出现有序程度高的相；反之，随着温度的升高，出现有序程度较低的相。

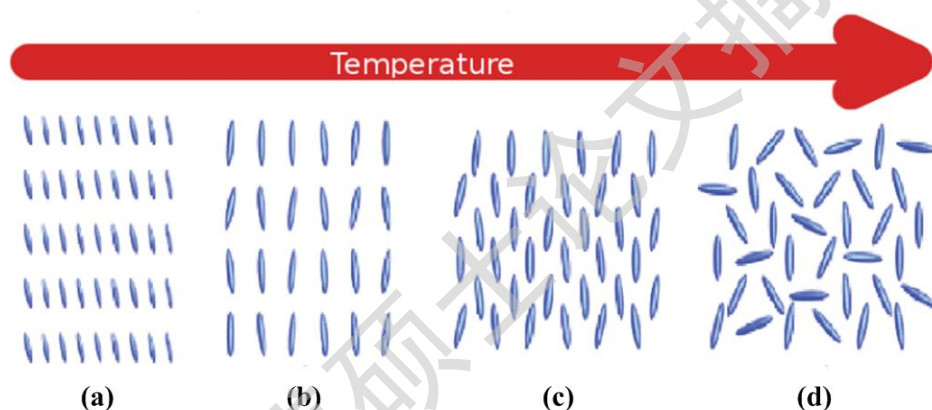


图 1-4. 热致液晶随着温度的变化情况<sup>[2]</sup>：（a）类固态，（b）近晶相，（c）向列相，（d）各向同性

介电常数各向异性：介电常数各向异性定义为

$$\Delta\epsilon = \epsilon_{//} - \epsilon_{\perp}$$

其中  $\epsilon_{//}$ 、 $\epsilon_{\perp}$  分别是平行和正交于液晶指向矢方向的介电常数。在电场作用下，介电常数决定了液晶分子的重新排列。如果液晶分子的  $\Delta\epsilon$  为正，则液晶分子的指向矢平行于电场的方向，如果液晶分子的  $\Delta\epsilon$  为负，则液晶的指向矢垂直于电场方向。液晶除了能被电场驱动外，还能被磁场驱动。早起液晶材料的电阻率低，所以多用磁场研究其特性，现在的液晶电阻率非常高，而且在应用中获得电场比获得磁场容易的多，所以在光电子方面的实际应用中，采用电场来驱动液晶。

折射率各向异性：液晶的双折射率  $\Delta n$  定义为

$$\Delta n = n_e - n_o$$

其中  $n_e$ 、 $n_o$  分别为非寻常和寻常光的在液晶中的折射率。液晶材料的  $n_o$  变化不大，一般在 1.5 左右，而分子结构对液晶材料的  $n_e$  影响较大。折射率椭球的中心为光线出发点的位置，若以光的波矢为法向作一过中心的平面，平面在椭球上的切痕为一椭圆。椭圆的长短轴分别代表该光线的寻常光和非寻常光的折射率。液晶分子在电场中的转动，这意味着电能改变液晶折射率椭球的旋转轴的方向。假设入射光的方向不改变，那么指向矢方向的改变意味着非寻常光折射率的改变。

### 1.1.3 胆甾相液晶

胆甾相液晶的螺距大小可随温度的改变而变化。这种分子结构特性使它具有了选择性光反射、圆偏振光二色性、电光效应和旋光效应等光学性质。胆甾相液晶可以通过两种方式产生，一种是通常的胆甾相材料；另一类是通过在向列相液晶中掺入手征性掺杂剂而产生，也是实验室研究常用的制备胆甾相液晶的方法，其形成过程如图 1-5 所示。一般来说它们本身的自然螺距远小于液晶的盒厚。手性掺杂剂的螺旋扭曲力常数(Helical Twisting Power, HTP)，与胆甾相液晶的螺距  $p$  及其在胆甾相液晶中的质量分数  $C$  之间的关系式是：

$$HTP = \frac{1}{c \times p} \quad (1)$$

即所得到的胆甾相液晶材料的螺距便由该公式决定。这里，所掺杂的手性材料的螺旋扭曲力系数 HTP 由手性剂本身的性质决定，且胆甾相液晶的螺距可以通过改变手性剂分子的质量分数来实现方便的调制。

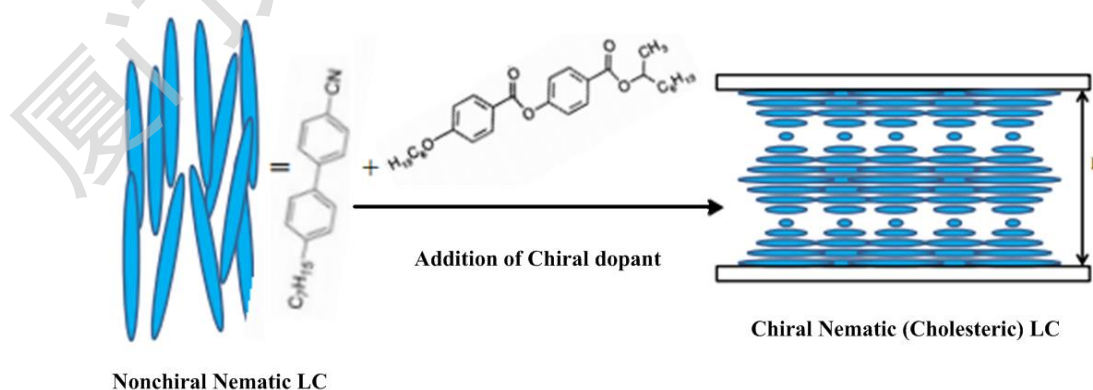


图 1-5. 胆甾相液晶的形成过程<sup>[3]</sup>



Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.